



## PATENT ABSTRACTS OF JAPAN

(11) Publication number: **09211245 A**(43) Date of publication of application: **15.08.97**

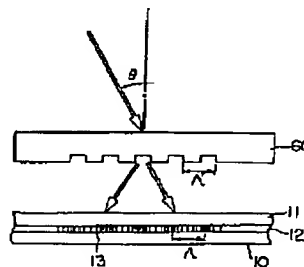
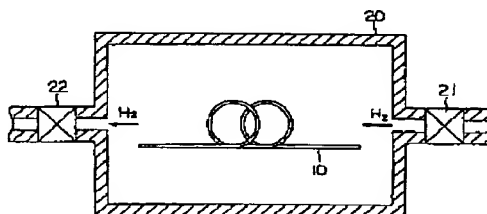
(51) Int. Cl.

**G02B 6/13****G02B 5/18**(21) Application number: **08016693**(22) Date of filing: **01.02.96**(71) Applicant: **SUMITOMO ELECTRIC IND LTD**(72) Inventor:  
**ITO MASUMI**  
**IKECHI MAKI**  
**ENOMOTO TADASHI****(54) PRODUCTION OF WAVEGUIDE TYPE  
DIFFRACTION GRATING****(57) Abstract:**

**PROBLEM TO BE SOLVED:** To provide a production method of a waveguide type diffraction grating which enhances stable reflectance for the component of light of specified wavelength.

**SOLUTION:** An optical fiber 10 is arranged in a pressure container, into which hydrogen ( $H_2$ ) gas is introduced while the container is controlled to 280°C with 20 to 400atm of hydrogen pressure. Then a specified region of the core of the optical fiber 10 is irradiated with UV rays to form a diffraction grating 13 by changing the refractive index. Then the optical fiber 10 with the diffraction grating 13 formed is left in a thermostat having 260°C inner atmosphere which does not substantially contain hydrogen so as to diffuse hydrogen remaining in the optical fiber 10 from the optical fiber 10 while reaction of hydrogen is suppressed.

COPYRIGHT: (C)1997,JPO



(19) 日本国特許庁 (J P)

(12) 公開特許公報 (A)

(11) 特許出願公開番号

特開平9-211245

(43) 公開日 平成9年(1997)8月15日

(51) Int.Cl.<sup>6</sup>G 0 2 B 6/13  
5/18

識別記号

庁内整理番号

F I

G 0 2 B 6/12  
5/18

技術表示箇所

M

審査請求 未請求 請求項の数 4 O L (全 8 頁)

(21) 出願番号 特願平8-16693

(22) 出願日 平成8年(1996)2月1日

(71) 出願人 000002130

住友電気工業株式会社

大阪府大阪市中央区北浜四丁目5番33号

(72) 発明者 伊藤 真澄

神奈川県横浜市栄区田谷町1番地 住友電  
気工業株式会社横浜製作所内

(72) 発明者 池知 麻紀

神奈川県横浜市栄区田谷町1番地 住友電  
気工業株式会社横浜製作所内

(72) 発明者 榎本 正

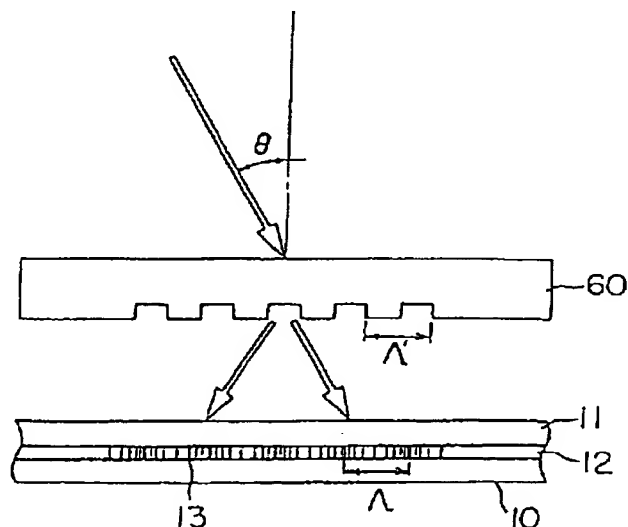
神奈川県横浜市栄区田谷町1番地 住友電  
気工業株式会社横浜製作所内

(74) 代理人 弁理士 長谷川 芳樹 (外3名)

(54) 【発明の名称】 導波路型回折格子の製造方法

(57) 【要約】

【課題】 特定波長の光成分に対する安定した反射率を増大させる導波路型回折格子の製造方法を提供する。

【解決手段】 圧力容器内に光ファイバ10を設置し、水素(H<sub>2</sub>)ガスを流入すると共に、圧力容器内を80℃以下、かつ、水素圧力を20～400気圧の状態にする。次に、光ファイバ10のコアの所定領域に紫外光を照射し、屈折率を変化させることにより、回折格子を書き込む。次いで、回折格子が書き込まれた光ファイバ10を、内部雰囲気60℃以下であり実質的に水素を含まない恒温槽25内に放置して、水素の反応を抑制しつつ、光ファイバ10内の残留水素を光ファイバ10から拡散させる。

## 【特許請求の範囲】

【請求項1】 光導波路のコア部に水素を添加する第1の工程と、  
前記光導波路の前記コア部の所定領域に紫外光を照射し、屈折率を変化させる第2の工程と、  
前記所定領域のコア部の屈折率が変化した前記光導波路を、60℃以下の一定温度の実質的に水素を含まない雰囲気下で放置する第3の工程と、  
を備えることを特徴とする導波路型回折格子の製造方法。

【請求項2】 前記第1の工程における前記光導波路への水素の添加は、雰囲気温度が80℃以下であるとともに、水素圧力が20気圧以上、かつ、400気圧以下で行われる、ことを特徴とする請求項1記載の導波路型回折格子の製造方法。

【請求項3】 前記第3の工程は大気雰囲気下または窒素雰囲気下で行われる、ことを特徴とする請求項1記載の導波路型回折格子の製造方法。

【請求項4】 前記第3の工程は、前記光導波路の前記コア部の水素濃度が1000ppm以下となるまで、前記光導波路を放置する工程である、ことを特徴とする請求項1記載の導波路型回折格子の製造方法。

## 【発明の詳細な説明】

## 【0001】

【産業上の利用分野】本発明は、光導波路のコア部の屈折率を光軸に沿って周期的に変化させて回折格子を形成する導波路型回折格子の製造方法に関するものである。

## 【0002】

【従来の技術】近年、光ファイバ通信技術の進展に伴い、ネットワークの複雑化や信号波長の多重化などが進行し、システム構成は高度化しつつある。このような光通信システムでは、光回路素子の重要性が増大している。

【0003】光回路素子における一般的構成の一つとしてファイバ型素子は、小型で挿入損失が小さいことや、光ファイバとの接続が容易であること等の利点を有している。そして、このようなファイバ型素子として、ファイバ型フィルターが知られている。

【0004】最近では、コア部に酸化ゲルマニウムをドープした石英系光ファイバについて、紫外光照射によってコア部の屈折率が増加するという知見が周知であり、このような光誘起屈折率変化を利用したファイバ型フィルターとして、光ファイバ型回折格子が研究開発されている。

【0005】この光ファイバ型回折格子は、光ファイバ内を進行する光のうち特定波長の光成分を反射するものであり、一般に、紫外光の照射によって光ファイバのコア部に屈折率が光軸に沿って周期的に変化した領域を形成することにより製造されている。この製造方法には、ファイバ型回折格子を生産性良く製造することができる

という利点がある。

【0006】このようなファイバ型回折格子においては反射率Rが重要な特性であり、この反射率Rは、グレーティング長（コア部の屈折率が光軸に沿って周期的に変化した領域の長さ）と光誘起による屈折率の変化量に依存する。この関係は、

$$R = \tanh^2 (L \pi \Delta n / \lambda_R)$$

ここで、R：反射率

L：グレーティング長

10  $\Delta n$ ：光誘起による屈折率の変化量

$\lambda_R$ ：反射波長

と表される。

## 【0007】

【発明が解決しようとする課題】紫外光照射による屈折率変化は、コア部のガラス中に存在するゲルマニウム関連のガラス欠陥に起因することが知られている。しかし、従来のような酸化ゲルマニウムをコア部にドープしただけのガラス光ファイバではガラス欠陥の数が少ないため、紫外光を照射しても屈折率変化量 $\Delta n$ が小さく、したがって、上記の式から明らかなように反射率も低い。具体的に言えば、紫外光照射によるコア部の屈折率変化は10<sup>-5</sup>程度であり、反射率は数%と過小である。

【0008】反射率を高くするためには、上記の式が示すようにグレーティング長Lを大きくする方法もあるが、紫外光レーザビームを照射するにあたって、レーザビームに高い均一性が要求され、そのために紫外光照射を行う光学系が複雑になるという問題点がある。また、ガラス欠陥が少ないため、紫外光照射による屈折率変化の速度が遅く、反射率を高くしようとすると、照射時間が長くなって生産性が低下するという問題点がある。

【0009】反射率を高くするため、紫外光の照射光量に対する屈折率の変化量を増大させるために、水素を光ファイバのコア部に添加する方法が知られている。

【0010】こうした水素添加後の光ファイバのコア部の所定領域に紫外光を照射すると、屈折率の変化量は大きくなり、反射率は大きくなるが、その後の使用時には反射率が低下していたり、また使用中に反射率が低下するなどの問題点があった。

【0011】本発明は、上記の問題点に鑑みなされたものであり、反射率の高い導波路型回折格子を容易に、生産性良く、かつ、安定して製造する方法を提供することを目的とする。

## 【0012】

【課題を解決するための手段】請求項1の導波路型回折格子の製造方法は、(i)光導波路のコア部に水素を添加する第1の工程と、(ii)光導波路のコア部の所定領域に紫外光を照射し、屈折率を変化させる第2の工程と、(i) (ii)所定領域のコア部の屈折率が変化した光導波路を、60℃以下の一定温度の実質的に水素を含まない雰囲気下で放置する第3の工程とを備えることを特徴とする。

【0013】ここで、第1の工程における光導波路への水素の添加は、雰囲気温度が80℃以下であるとともに、水素圧力が20気圧以上、かつ、400気圧以下で行われることが好適である。

【0014】また、第3の工程は大気雰囲気下または窒素雰囲気下で行われることが実用的である。

【0015】また、第3の工程は、光導波路の前記コア部の水素濃度が1000ppm以下となるまで、光導波路を放置する工程であることを特徴としてもよい。

【0016】請求項1の導波路型回折格子の製造方法では、まず、光導波路のコア部に水素を添加する（第1の工程）。この光導波路への水素の添加は、光導波路を水素雰囲気中で還元処理する方法を採ることができる。

【0017】この場合、光導波路にドーピングされている酸化ゲルマニウム ( $\text{GeO}_2$ ) が還元され易くなり、Geと結合している酸素が一部取り除かれる現象が発生する。結合酸素が一部取り除かれたGeが結合しあえば酸素欠損型の欠陥が新たに生じることとなり、光導波路のコア部における酸素欠損型の欠陥が増大して、紫外光の照射による屈折率変化が高まる。

【0018】すなわち、光ケーブルを構成する石英 ( $\text{SiO}_2$ ) や、これにドーピングされている酸化ゲルマニウム ( $\text{GeO}_2$ ) が全体的に還元され易くなり、GeやSiと結合している酸素が一部取り除かれる現象が発生すると推察される。結合酸素が一部取り除かれたGeやSiが結合しあえば、Si-GeまたはGe-Geなどの中性酸素モノ空孔、すなわち酸素欠損型の欠陥が新たに生じることとなる。

【0019】なお、水素雰囲気中で還元処理される光導波路は、裸の光導波路である必要はなく、樹脂がコートされた光導波路であってもよい。こうした場合には、線引時に樹脂コートを行って作成した光導波路をそのまま使用して、光導波路のコア部に水素を添加することができる。

【0020】第1の工程における光ケーブルへの水素の添加は、雰囲気温度が80℃以下であるとともに、水素圧力が20気圧以上、かつ、400気圧以下で行われる、ことが好適である。

【0021】光導波路内の水素は、熱によってもGeと反応して、Ge-OHを形成する。この反応は、紫外線照射によるGe-OHの形成反応を阻害する。

【0022】第1の工程での光導波路への水素の添加が、水素雰囲気下での還元処理工程である場合には、雰囲気温度が高いと水素の拡散速度が速くなり処理時間が短くなるが、添加濃度が下がるため、紫外光の照射による屈折率増加の効果は減少する。

【0023】また、光導波路内の水素は、熱によってもGeと反応して、Ge-OHを形成する。この反応は、紫外線照射によるGe-OHの形成反応を阻害する。この観点からも、処理温度が高すぎることは好ましくな

い。

【0024】本発明者の知見によれば、処理温度は80℃以下であることが好ましい。

【0025】また、水素圧力が20気圧以下では水素の添加の効果が実質的になく、また、100気圧以下では水素添加の効果が小さい。そして、更に、水素圧力を上昇していくと、水素添加の効果の向上がみられるが、300気圧以上では効果が徐々に飽和し、400気圧以上では、水素圧力の上昇による効果はみられない。

【0026】次に、水素が添加された光導波路のコア部の所定領域に紫外光を照射し、屈折率を変化させる（第2の工程）。

【0027】酸化ゲルマニウムをドーピングした石英ガラス系の光導波路において、紫外光照射による屈折率変化のメカニズムは、完全に解明されてはいない。しかしながら、重要な原因として、ゲルマニウムに関連した酸素欠損型の欠陥が考えられており、このような欠陥としてSi-GeまたはGe-Geなどの中性酸素モノ空孔が想定されている。このような屈折率変化のメカニズムに関しては、文献「1993年電子情報通信学会春季大会、C-243, pp. 4-279」などに記載されている。

【0028】本出願の発明者は、酸化ゲルマニウムをドーピングした石英系の光導波路に通常わずかしき存在しない酸素欠損型の欠陥を増大させることにより、紫外光照射による屈折率変化が増大するであろうと推定した。そして、光導波路内に存在するゲルマニウムに関連した酸素欠損型の欠陥を増大するためには、光導波路を水素雰囲気中で還元処理することが有効であることを見出した。

【0029】光ケーブルを水素雰囲気中で還元処理することにより、光導波路には水素が添加される。本発明者らの知見によれば、水素が添加された光導波路に紫外光が照射されると、添加水素が光導波路材料中のゲルマニウム、酸素と反応して、Ge-OHという新たな結合を形成し、これらの結合が屈折率変化を高める。

【0030】紫外光の照射について、紫外光を干渉させて生じた干渉縞をコア部の所定領域に照射して行うことが容易である。なお、紫外光の干渉縞は、分岐した紫外光の一方をコア部の軸方向に対して第1角度で、他方を第1角度の補角となる第2角度で、共に所定領域に照射して形成されることが適切である。このホログラフィック法によれば、コア部の屈折率変化は、これら二つの分岐光の入射角度に対応した周期で生じる。また、紫外光の干渉縞は、所定周期で配列された格子を有する位相格子に紫外光を位相格子の面方向に対して所定角度で照射して形成されることが適切である。この位相格子法によれば、コア部の屈折率変化は、位相格子の格子配列に対応した周期で生じる。

【0031】本発明者らの実験によれば、光導波路のコア部に水素を10000ppm添加した場合には、コア部にGeが充分含まれている場合には、屈折率変化は1

0°に達し、回折格子としての反射率はほぼ100%を達成できる。

【0032】次いで、所定領域のコア部の屈折率が変化した光導波路を、60℃以下の一定温度の実質的に水素を含まない雰囲気下で放置する（第3の工程）。

【0033】第2の工程で紫外光が照射された部分では水素が消費されるが、それ以外の領域には水素が残留する。したがって、回折格子を書き込んだ後には、大部分の領域では水素が残留していることになる。こうした水素は、拡散によって徐々に減少していくが、保存環境温度や使用環境温度によっては、熱によって反応し、Ge-OHなどのOHが生成してしまい、回折格子の特性に悪影響を及ぼすことになる。

【0034】本発明者は鋭意研究の結果、こうした残留水素の熱によるOH生成反応が、水素添加導波路を用いた導波路型回折格子の特性の不安定性の原因であるとの知見を得た。

【0035】そこで、第3の工程において、第2の工程までで回折格子を書き込んだ光導波路を、そのままの状態、すなわち、第2の工程で被覆を剥離したとすれば、光導波路を加熱する要素のある補強等を行わずに剥離状態のままで、一定温度の実質的に水素を含まない雰囲気下で放置して、水素の拡散を促す。

【0036】本発明者が研究の結果得た知見によれば、光導波路の放置環境温度が60℃以下であれば、OH生成が回折格子としての特性に実質的に悪影響を与えない。また、一定温度としないと、最終的な回折格子の特性が揃わない。したがって、第3の工程では、恒温槽を使用することが好適である。

【0037】実質的に水素を含まない雰囲気としては、大気雰囲気または窒素雰囲気とすることが可能であり、こうした雰囲気を採用すると、簡易に実質的に水素を含まない雰囲気を実現できる。

【0038】また、本発明者が研究の結果得た知見によれば、第3の工程で、光導波路のコア部の残留水素濃度が1000ppm以下とすれば、その後の保存温度や使用温度に拘らず、生成されるOHによる回折格子の特性への悪影響が実質的に無視できる。

【0039】

【発明の実施の形態】以下、添付図面を参照して本発明の導波路型回折格子の製造方法の実施の形態を説明する。なお、図面の説明にあたって同一の要素には同一の符号を付し、重複する説明を省略する。また、図面の寸法比率は、説明のものと必ずしも一致していない。

【0040】本実施形態の導波路型回折格子の製造方法では、まず、光ファイバを用意し、水素雰囲気中で光ファイバを加熱して還元処理する。

【0041】具体的には、図1に示すように、圧力容器20内に光ファイバ10を設置し、バルブ21側からバルブ22に向かって水素(H<sub>2</sub>)ガスを気流として通過

させつつ、図示しないヒータで圧力容器20を温度設定を行う。この際、水素ガスの流量は、バルブ21及び22の開閉によって調節される。

【0042】光ファイバ10は、コア部に酸化ゲルマニウム(GeO<sub>2</sub>)を含む通常の石英系光ファイバであり、また、二次被覆までされた光ファイバ心線であってもよい。また、雰囲気は水素圧力20~400気圧であり、雰囲気温度は80℃以下に設定する。

【0043】雰囲気温度を80℃以下に設定するのは、雰囲気温度が高いと水素の拡散速度が速くなり処理時間が短くなるが、添加濃度が下がるため、紫外光の照射による屈折率増加の効果は減少するためである。また、光ファイバ10内の水素は、熱によってもGeと反応して、Ge-OHを形成する。この反応は、紫外線照射によるGe-OHの形成反応を阻害する。この観点からも、処理温度が80℃を超えることは好ましくない。

【0044】水素圧力を20気圧以上とするのは、水素圧力が20気圧未満では水素の添加の効果が実質的にないからである。なお、水素添加の効果の観点からは、水素圧力を100気圧以上とすることが好ましい。

【0045】水素圧力を400気圧以下とするのは、400気圧を超えると水素添加の効果が飽和するからである。こうした効果の飽和の傾向は、水素圧力が300気圧を超えると見られるようになる。

【0046】こうした水素添加工程によれば、光ファイバ10に添加された水素により光ファイバ10のコア部にドーピングされている酸化ゲルマニウムが還元され易くなり、GeやSiと結合している酸素が一部取り除かれる現象が発生する。結合酸素が一部取り除かれたGeやSiが結合しあえば、酸素欠損型の欠陥が新たに生じることとなり、光ケーブルのコア部において通常わずかしき存在しない酸素欠損型の欠陥が増大する。

【0047】次に、水素添加工程で処理された光ファイバ10内のコア部の所定領域に紫外光干渉縞を照射する。

【0048】図2は、ホログラフィック法による紫外光干渉縞の照射の説明図である。図2に示すように、干渉機構40を用いて干渉空間50を生成するように、光源30から出射された紫外光を干渉させ、この干渉空間50に光ファイバ10を設置する。光源30は、SHG（高調波発生器）アルゴンレーザやKrFエキシマレーザ等であり、所定波長を有するコヒーレントな紫外光を出射する。干渉機構40は、ビームスプリッタ41及びミラー42、43で構成されている。ビームスプリッタ41は、光源30からの紫外光を二つの分岐光に二分岐させる。ミラー42及び43は、ビームスプリッタ41からの分岐光をそれぞれ反射し、光ファイバ10の軸方向に対して所定角度 $\theta_1$ 、 $\theta_2$ でそれぞれ入射して共面ビームとして相互に干渉させる。光ファイバ10は、シリカガラスからなるクラッド部11及びコア部12で構

成されている。コア部12は、上述したように酸化ゲルマニウムがドーブされており、クラッド部11と比較して高屈折率を有する。なお、二つの分岐光の入射角度 $\theta_1$ 及び $\theta_2$ は相互に補角であり、これらの和( $\theta_1 + \theta_2$ )は $180^\circ$ になる。

【0049】このような工程によれば、光ファイバ10に所定波長の紫外光を照射するので、酸化ゲルマニウムをドーブしたコア部12における露光領域の屈折率が変化する。現在、このような紫外光照射による屈折率変化\*



で示すように転化する。この反応で放出された電子は転化した欠陥の周辺に位置するGeにトラップされるので、コア部12の光吸収特性が変化する。このような欠陥における吸収スペクトルによると、紫外光照射前には波長240~250nm付近にピークが現れるが、紫外線照射後には波長210nm付近及び280nm付近にピークが遷移することが確認されている。この遷移によりコア部の屈折率が変化すると考えられている。なお、周知なクラマース・クローニツヒの関係式に基づき、欠陥の吸収スペクトル変化から見積ったコア部12における屈折率変化の値は、反射率の測定値から算出した屈折率変化の値に良く一致している。

【0051】水素添加工程で水素添加され還元処理された光ファイバ10のコア部12では、上述したように通常わずかししか存在しない酸素欠損型の欠陥が増大しているので、紫外光の露光領域における屈折率変化が大きくなる。これに加えて、紫外光がコア部に照射されると、※

$$\Lambda = \lambda / (2 \sin \theta)$$

となる。したがって、コア部12の露光領域には、異なる屈折率を有する領域が干渉縞の間隔 $\Lambda$ を周期として光ファイバ10の軸方向に配列されるので、格子13が形成されることになる。

$$\begin{aligned} \lambda_R &= 2n\Lambda \\ &= \lambda n / \sin \theta \end{aligned}$$

となる。また、格子13の長さLと屈折率差 $\Delta n$ とを用☆

$$R = \tanh^2 (L \pi \Delta n / \lambda_R)$$

となる。したがって、光ファイバ10のコア部12では、格子13が $10^{-4} \sim 10^{-3}$ 程度の大きい屈折率変化で形成されているので、反射波長 $\lambda_R$ の反射率が100%近い値に達する。

【0054】なお、このようなホログラフィック法では、光源30としては干渉性の良好なレーザが必要である。また、高精度の位置調整や安定性が必要となる。

【0055】図3は、位相格子法による紫外光干渉縞の照射の説明図である。図3に示すように、光ファイバ10を位相格子60に隣接して設置し、光源30から出射された紫外光を位相格子60表面の法線方向に対して所定角度 $\theta$ で入射させる。光源30は、SHGアルゴンレーザやKrFエキシマレーザ等であり、これらは所定波長を有するコヒーレントな紫外光を出射する。位相格子 ◆50

\*のメカニズムは、完全に解明されてはいない。しかしながら、これを説明するものとして、クラマース・クローニツヒ機構、双極子モデル及び圧縮モデルなどが一般に提案されている。ここでは、クラマース・クローニツヒ機構に基づいて説明を行う。

【0050】光ファイバ10内のコア部12には、Geに関連した酸素欠損型の欠陥が通常わずかに存在している。ここで、欠陥をGe-Siの中性酸素モノ空孔で代表すると、その欠陥は紫外光照射によって

(1)

※酸素が取り除かれたGeやSi、あるいは通常のGe-O-Siのような結合と、光ケーブルに添加された水素とが反応して、Ge-H, Ge-OH, Si-H, Si-OHという結合が形成される。本発明者は、これらの結合が新たな光吸収帯を形成することにより、紫外光照射による屈折率変化が高まると推察する。したがって、本発明の方法によれば、酸素欠損型欠陥の増大による効果と添加水素の反応により生成された新たな結合(Ge-H等)による効果とが相舞って、紫外光の露光領域における屈折率変化が $10^{-4} \sim 10^{-3}$ 程度に大きくなる。

【0052】図2のホログラフィック法では、二つのコヒーレントな紫外光を光ファイバ10の軸方向に対する角度 $\theta_1, \theta_2$ ( $=180^\circ - \theta_1$ )で入射して干渉させている。そのため、光ファイバ10の径方向に対するコヒーレントな紫外光の入射角度 $\theta$ ( $=90^\circ - \theta_1$ )と紫外光の波長 $\lambda$ とを用い、干渉空間50における干渉縞の間隔 $\Lambda$ は、

(2)

★【0053】ブラッグの回折条件に基づいてコア部12の屈折率nと格子13の周期 $\Lambda$ とを用い、このファイバ型回折格子の反射波長 $\lambda_R$ は、

(3)

☆い、このファイバ型回折格子の反射率Rは、

(4)

◆60は、所定周期で格子を配列して形成されている。光ファイバ10は、シリカガラスからなるクラッド部11及びコア部12で構成されている。コア部12は、上述したように酸化ゲルマニウムがドーブされており、クラッド部11と比較して高屈折率を有する。

【0056】図3の位相格子法によれば、光ファイバ10に所定波長の紫外光を照射するので、酸化ゲルマニウムをドーブしたコア部12における露光領域の屈折率が変化する。現在、このような紫外光照射による屈折率変化のメカニズムは、完全に解明されてはいない。しかしながら、この屈折率変化には、ファイバ10のコア部12に通常わずかに存在しているGeに関連した酸素欠損型の欠陥が関与していると、一般に推定されている。

【0057】水素添加工程で水素添加され還元処理され

た光ファイバ10のコア部12では、通常わずかしかな存在しない酸素欠損型の欠陥が増大しているため、紫外光の露光領域における屈折率変化が大きくなる。

【0058】また、格子が所定間隔 $\Lambda'$ で配列された位 \*

$$\Lambda = \Lambda'$$

となる。したがって、コア部12の露光領域には、異なる屈折率を有する領域が干渉縞の間隔 $\Lambda$ を周期として光ファイバ10の軸方向に配列されるので、格子13が形成されることになる。

$$\begin{aligned}\lambda_R &= 2n\Lambda \\ &= 2n\Lambda'\end{aligned}$$

となる。また、格子13の長さ $L$ と屈折率差 $\Delta n$ とを用い、このファイバ型回折格子の反射率 $R$ は、上述した式(4)に示すようになる。したがって、光ファイバ10のコア部12では、格子13が $10^{-4}$ ~ $10^{-3}$ 程度の大きい屈折率変化で形成されているので、反射波長 $\lambda_R$ の反射率が100%近い値に達する。

【0060】なお、このような位相格子法によれば、上述したホログラフィック法に要求される位置調整や安定性の条件が緩和される。また、通常のリソグラフィ技術や化学エッチングにより、格子の周期を自由に選択することができるので、複雑な形状も実現可能である。

【0061】次いで、回折格子13が形成された光ファイバ10を60℃以下の一定温度の実質的に水素を含まない雰囲気下で放置する。

【0062】具体的には、図4に示すように、恒温槽25内に光ファイバ10を設置し、バルブ26側からバルブ26に向かって大気を気流として通過させつつ、図示しないヒータなど恒温槽25内部を60℃以下の一定温度に制御する。この際、大気の流量は、バルブ26及び27の開閉によって調節される。

【0063】雰囲気温度を60℃以下に設定するのは、雰囲気温度が高いと光ファイバ10内に残留している水素によるOH生成反応が促進されてしまうためである。

【0064】なお、恒温槽25内の圧力は、限定されないが、大気圧とすることが実用的である。

【0065】また、恒温槽25内部の雰囲気を窒素雰囲気とすることも可能である。

【0066】そして、光ファイバ10内の水素濃度が1000ppm以下となるまで、恒温槽25内に光ファイバ10を放置した後、光ファイバ10を恒温槽25から取り出す。この取り出された光ファイバ10に補強等を施して、ファイバ型回折格子を得る。

【0067】こうして製造されたファイバ型回折格子は、以下のようにして反射率が測定される。図5は、ファイバ型回折格子の反射率測定を行うシステムの構成図である。図5に示すように、このシステムは、光源70、光ファイバ10及び光スペクトルアナライザ90を光カプラ80で光結合して構成されている。

【0068】光源70は通常の発光ダイオード等であ

\* 相格子60表面の法線方向に対して紫外光を角度 $\theta$ で照射して干渉させている。そのため、コア部12の露光領域における干渉縞の間隔 $\Lambda$ は、

(5)

※【0059】周知なブラッグの回折条件に基づいてコア部12の屈折率 $n$ と格子13の周期 $\Lambda$ とを用い、このファイバ型回折格子の反射波長 $\lambda_R$ は、

(6)

★り、光ファイバ10における反射波長 $\lambda_R$ を有する光成分を含む光を出射する。光カプラ80は通常の溶融延伸型ファイバカプラであり、光源70からの入射光を光ファイバ10に出力すると共に光ファイバ10からの反射光を光スペクトルアナライザ90に出力する。光スペクトルアナライザ90は、光ファイバ10からの反射光における波長と光強度との関係を検出する。なお、光ファイバ10の開放端は、マッティングオイル100中に浸されている。このマッティングオイル100は、通常の屈折率整合液であり、不要な反射光成分を除去している。

【0069】図5のシステムによれば、光源70から出射された光は、光カプラ80を介して光ファイバ10に入射する。光ファイバ10では、コア部12に形成されている格子13が特定波長の光成分を反射する。光ファイバ10から出射された光は、光カプラ80を介して光スペクトルアナライザ90で受光される。光スペクトルアナライザ90では、波長と光強度とからなる光ファイバ10の反射スペクトルが検出される。

【0070】

【実施例】本発明者は、上記の実施形態に基づいて、以下のようにして、ファイバ型回折格子を製造を実施し、反射率を測定した。

【0071】まず、ゲルマニウム添加コアを有する光ファイバを、水素圧力200気圧、内部温度30℃の雰囲気圧力容器内に設置して、2週間の水素添加処理を施した。

【0072】次に、図2に示すようなホログラフィック干渉系を組合わせたエキシマレーザで回折格子を書き込んだ。この時点で、図5に示すシステムで反射率を測定したところ、略100%の反射率であった。

【0073】次いで、回折格子が書き込まれた光ファイバを、大気を循環させた雰囲気温度が30℃の恒温槽内で2週間放置した。

【0074】こうして得たファイバ型回折格子について、図5に示すシステムで反射率を測定したところ、略100%の反射率であり、その後も変化が見られなかった。

【0075】また、このファイバ型回折格子の水素濃度を測定したところ、水素濃度は約100ppmであつ

※

20

30

40

た。

【0076】本発明者は、上記の実施例と比較するため、以下のような比較例のファイバ型回折格子を製造し、反射率を測定した。

【0077】（比較例1）まず、実施例と同様に、ゲルマニウム添加コアを有する光ファイバを、水素圧力200気圧、内部温度30℃の雰囲気内の圧力容器内に設置して、2週間の水素添加処理を施した。

【0078】次に、実施例と同様に、図2に示すようなホログラフィック干渉系を組合わせたエキシマレーザで回折格子を書き込んだ。この時点で、図5に示すシステムで反射率を測定したところ、略100%の反射率であった。

【0079】次いで、回折格子が書き込まれた光ファイバを、大気を循環させた雰囲気温度が80℃の恒温槽内で1週間放置した。

【0080】こうして得たファイバ型回折格子について、図5に示すシステムで反射率を測定したところ、略80%の反射率に低下していた。なお、その後の変化が見られなかった。

【0081】また、このファイバ型回折格子の水素濃度を測定したところ、水素濃度は約50ppmであった。

【0082】（比較例2）まず、実施例と同様に、ゲルマニウム添加コアを有する光ファイバを、水素圧力200気圧、内部温度30℃の雰囲気内の圧力容器内に設置して、2週間の水素添加処理を施した。

【0083】次に、実施例と同様に、図2に示すようなホログラフィック干渉系を組合わせたエキシマレーザで回折格子を書き込んだ。この時点で、図5に示すシステムで反射率を測定したところ、略100%の反射率であった。

【0084】次いで、回折格子が書き込まれた光ファイバを、大気を循環させた雰囲気温度が30℃の恒温槽内で5日間放置した。

【0085】こうして得たファイバ型回折格子について、図5に示すシステムで反射率を測定したところ、略100%の反射率であったが、その後に80℃の環境下で使用していたところ、徐々に、70%まで反射率が低下した。

【0086】また、恒温槽から取り出した直後のファイバ型回折格子の水素濃度を測定したところ、水素濃度は約1500ppmであった。

【0087】本発明は上記の実施形態に限定されるもの \*

\*でなく、変形が可能である。例えば、上記の実施形態では、光ファイバに水素添加処理を施し、この光ファイバの所定領域に格子を形成しているが、光ファイバ以外の光導波路として薄膜導波路を用いても良い。コア部が下部クラッド層および上部クラッド層により被覆されている薄膜導波路は、下部クラッド層の上にコア部が形成された後、上部クラッド層を積層する前に、水素添加処理を施すと良い。この後、紫外光照射を行ってコア部の所定領域に格子を形成してから上部クラッド層を積層すれば、薄膜導波路型の回折格子が得られる。

#### 【0088】

【発明の効果】以上、詳細に説明したように、本発明の導波路型回折格子の製造方法によれば、光導波路のコア部に水素を添加し、この光導波路のコア部の所定領域に紫外光を照射して屈折率を変化させた後、所定領域のコア部の屈折率が変化した光導波路を、60℃以下の一定温度の実質的に水素を含まない雰囲気下で放置して、導波路内における水素の反応を抑制しつつ、導波路外へ水素を拡散させることとしたので、反射率の高い光ケーブル型回折格子を容易に、生産性良く、かつ、安定して製造することができる。

#### 【図面の簡単な説明】

【図1】本発明の実施形態の導波路型回折格子の製造方法における水素添加工程の説明図である。

【図2】本発明の実施形態の導波路型回折格子の製造方法における回折格子書き込み工程（ホログラフィック法）の説明図である。

【図3】本発明の実施形態の導波路型回折格子の製造方法における回折格子書き込み工程（位相格子法）の説明図である。

【図4】本発明の実施形態の導波路型回折格子の製造方法における水素拡散工程の説明図である。

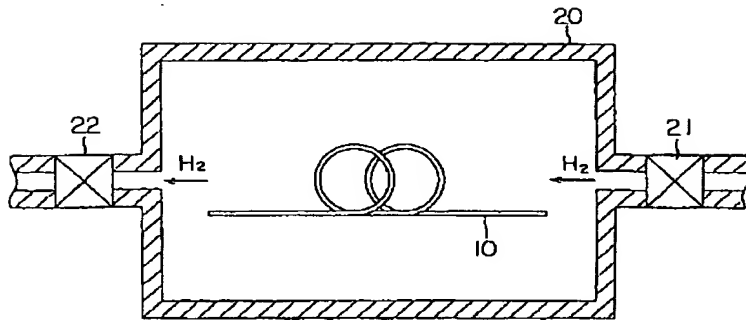
【図5】導波路型回折格子における反射率測定を行うシステムを示す構成図である。

#### 【符号の説明】

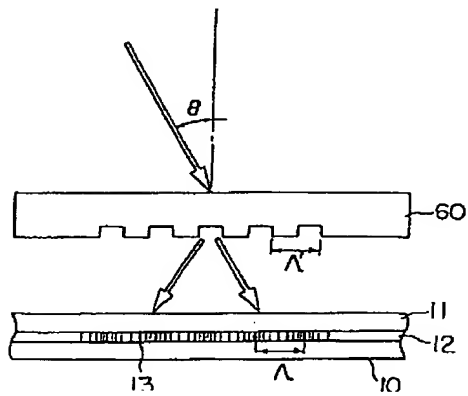
10…光ファイバ、11…クラッド部、12…コア部、13…回折格子、20、25…圧力容器、21、22、26、27…バルブ、30、70…光源、40…干渉機構、41…ビームスプリッタ、42、43…ミラー、50…干渉空間、60…位相格子、80…光カプラ、90…光スペクトルアナライザ、100…マッチングオイル。



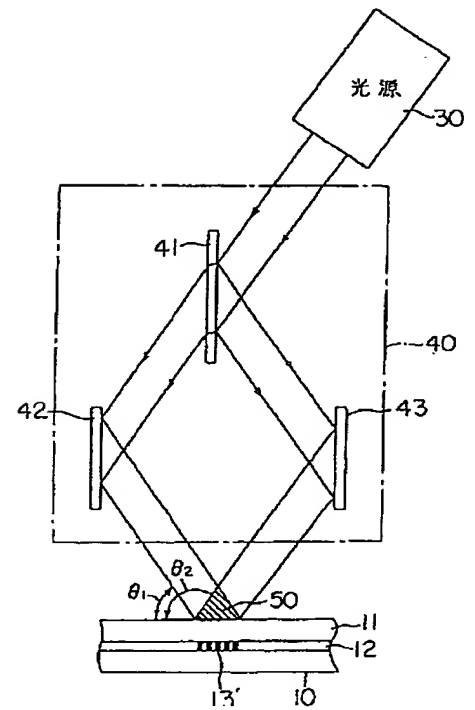
【図1】



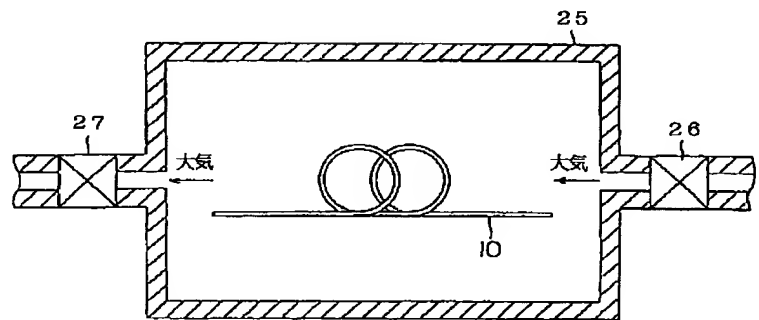
【図3】



【図2】



【図4】



【図5】

